

Ismo Suurtalo

SÄHKÖKESKUSTEN LÄMPÖKUVAUKSET OSANA ENNAKOIVAA KUNNOSSAPITOA

Opinnäytetyö
Sähkötekniikan koulutusohjelma


Maaliskuu 2014




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 MAMK University of Applied Sciences		Opinnäytetyön päivämäärä 4.3.2014	
Tekijä(t) Ismo Suurtalo		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Nimeke Sähkökeskuksien lämpökuvaukset osana ennakoivaa kunnossapitoa			
Tiivistelmä <p>Teollisuuden sähköjärjestelmien säännöllinen ja järjestelmällinen lämpökuvaaminen yleistyy vuosi vuodelta. Tähän osaltaan on vaikuttanut edullisempien ja helppokäyttöisempien lämpökameroiden saatavuus kuin myös tuotantolaitosten käynnissäpidon merkityksen kasvu. Tämä on merkinnyt painopisteen siirtämistä korjaavasta kunnossapidosta ennakoivaan kunnossapitoon.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda St1 Biofuels Oy:n tuotantolaitoksille sähkökeskuksien lämpökuvaamisen huolto-ohje sekä huoltohistoriadokumentaatio osaksi ennakoivaa kunnossapito-ohjelmaa.</p> <p>Tässä työssä selvitettiin yleisesti lämpökameran toiminta periaatteita. Lisäksi työssä selvitettiin edellytyksiä, mahdollisuuksia ja rajoitteita hyödyntää lämpökameraa sähkökeskuksien ennakoivassa kunnossapidossa. Työssä tehtyjen referenssi mittauksien ja lämpökuvauksen sekä selvitysten lisäksi tehtiin haastatteluja alan ammattilaisille. Näiden pohjalta voitiin todeta, ettei pelkästään lämpökameralla saaduista mittaustuloksista voida välttämättä aina tehdä yksiselitteisiä johtopäätöksiä kohteesta. Lämpökamera on erittäin hyvä työkalu arvioitaessa ja analysoitaessa sähkökeskuksien kuntoa, mutta luotettava arvio vaatii hyvin monesti myös muita mittauksia ja parametreja kohteesta.</p> <p>Työn pohjalta laadittiin kunnossapito-ohje sekä -dokumentaatio huoltohistorian hallintaan, joka liitetään osaksi yhtiön ennakoivan kunnossapidon ohjelmaan ja vuosihuoltokäytäntöeseen. Nyt laadittua ohjetta tai huoltohistoria dokumentaatiota ei kuitenkaan voida pitää täysin yleispätevänä ja kaikkialle soveltuvana. Ohje- ja historiadokumentaatio tulisi aina laatia tapauskohtaisesti huomioiden kyseisen kohteen erityispiirteet.</p>			
Asiasanat (avainsanat) Lämpökuvaus, sähkökeskus, kunnossapito, sähkö, kunnossapito-ohje			
Sivumäärä 25+9		Kieli Suomi	
		URN	
Huomautus (huomautukset liitteistä)			
Ohjaavan opettajan nimi Keijo Kiljala		Opinnäytetyön toimeksiantaja St1 Biofuels Oy	

DESCRIPTION

		Date of the bachelor's thesis 4.3.2014
Author(s) Ismo Suurtalo		Degree programme and option Electrical engineering
Name of the bachelor's thesis Thermo graphic imaging of electrical centres as part of the proactive maintenance		
Abstract <p>Regular and systematic thermo graphic imaging in industry is increasing year by year. This has been influenced by availability of cheaper and user-friendly Thermal Imaging Cameras. Maintain the plant in operation has become important as well. For these reasons the focus has switched from corrective maintenance to proactive maintenance.</p> <p>The purpose of this thesis work was to study the basics of thermo graphic imaging and create maintenance manual and – history documentations of thermo graphic imaging of electrical central.</p> <p>As a result of this thesis the maintenance manual and –history documentations will be attached into the maintenance program of St1 Biofuels Ltd.</p>		
Subject headings, (keywords) Thermo graphic imaging, electrical center, maintenance, electrical, maintenance instruction		
Pages 25+9	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Keijo Kiljala		Bachelor's thesis assigned by St1 Biofuels Oy

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	ST1 BIOFUELS OY	1
3	SÄHKÖKUNNOSSAPITO	2
3.1	Kunnossapidon määritelmä	2
3.2	Kunnossapidon lajit	2
3.2.1	Korjaava kunnossapito	3
3.2.2	Ennakoiva kunnossapito	3
3.2.3	Parantava kunnossapito	3
4	LÄMPÖKUVAUKSEN PERUSTEET	4
4.1	Lämpö- eli infrapunasäteily	4
4.2	Lämpökameran tekniikka	5
5	LÄMPÖKAMERA FLUKE TI-110	5
6	KUNNOSSAPITOJÄRJESTELMÄ	6
7	LÄMPÖKAMERAN HYÖDYNTÄMINEN OSANA ENNAKOIVAA KUNNOSSAPITOA	7
7.1	Joulen laki	8
7.2	Virtateiden lämpenemisen vaikuttavat suureet	8
7.2.1	Lämpötilan ja johdinmateriaalin vaikutus resistanssiin	8
7.2.2	Nimelliskuorman lämpötilan arvioiminen osakuormituksesta	11
7.3	Sähkökeskuksen lämpökuvaamisen vaatimukset	11
7.3.1	Turvallisuus	12
7.3.2	Kuormitus	12
7.3.3	Lämpötilapoikkeama	12
7.4	Mittaustekniikka	13
7.4.1	Emissiokerroin	13
7.4.2	Matala emissiokerroin	13
7.4.3	Mittausetäisyys	13
7.4.4	Kuvauskulma ja heijastuma	14
8	ENNAKKOHUOLTO-OHJEEN LAADINNAN PERUSTEET	14
9	LÄMPÖKUVAAMINEN JA KUVAUSKÄYTÄNNE OHJEEN MUKAISESTI	16

9.1	Moottorilähtö P20 analysointi	16
9.1.1	Kohteen lämpökuvaaminen	16
9.1.2	Esimerkki kohteen muut parametrit ja mittaukset	17
9.1.3	Kohteen analysointi	18
9.2	Moottorilähtö P4 analysointi	20
9.2.1	Kohteen lämpökuvaaminen	20
9.2.2	Esimerkki kohteen muut parametrit ja mittaukset	21
9.2.3	Kohteen analysointi ja korjaustoimenpiteet.....	21
10	YHTEENVETO	22
	LÄHTEET	24
	LIITTEET	
	1 Emissiokerrointaulukko	
	2 Ennakoivan kunnossapidon ohje	

1 JOHDANTO

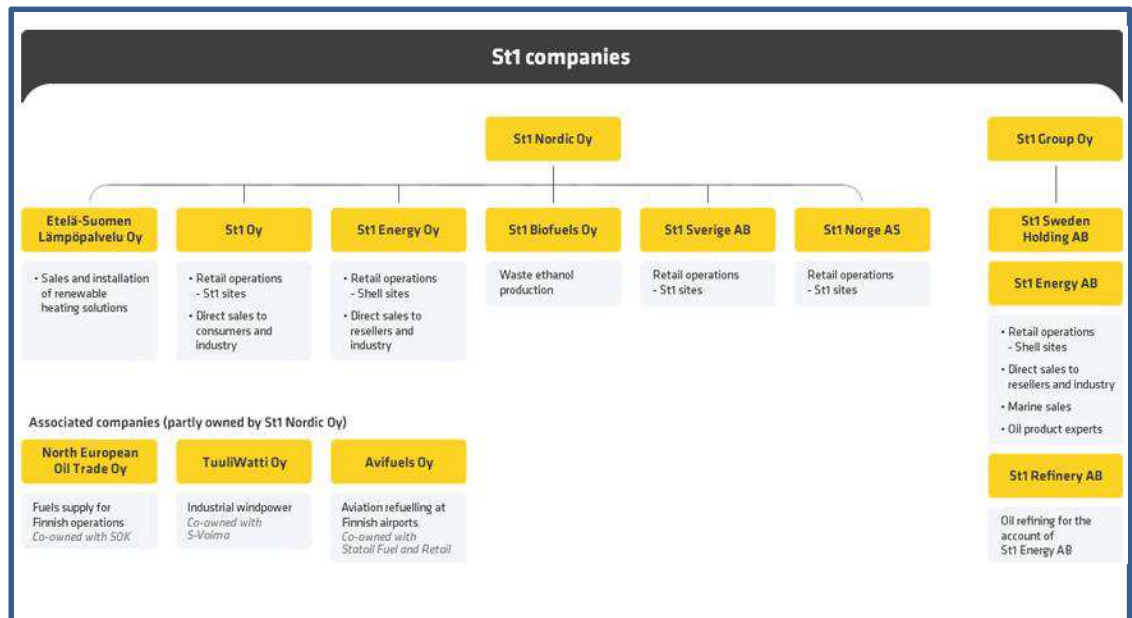
Opinnäytetyön tarkoituksena on laatia St1 Biofuels Oy:n tuotantolaitokselle sähkökeskusten lämpökuvauksista ennakoivan kunnossapidon huolto-ohje sekä huoltohistoriadokumentaatio, joka tullaan liittämään osaksi olemassa olevaan kunnossapito-ohjelmaan.

Tarve sähkökeskusten lämpökuvaukselle syntyi yleiseen kokemukseen eri tehdaslaitoksista sekä yhtiön strategiasta siirtyä korjaavasta kunnossapidosta ennakoivan kunnossapidon käytänteeseen.

Säännöllisillä lämpökuvauksilla pyritään löytämään ennakoivasti muun muassa alkavia komponenttien vikaantumisia, löysiä liitoksia ja väärin mitoitettuja keskuskomponentteja. Yleisesti vikoja, jotka voivat aiheuttaa mahdollisia, ei suunniteltuja tuotantokatkoja. Lisäksi lämpökuvauksilla pyritään ennalta ehkäisemään sähköpalon riskiä. Laadittavan huolto-ohjeen tarkoituksena on varmistaa ennakoivan kunnossapidon säännönmukaisuus sekä varmentaa mittaustulosten vertailukelpoisuus pitkässä aikavälissä.

2 ST1 BIOFUELS OY

St1 Biofuels Oy on vuonna 2006 perustettu suomalainen energia-alan yritys. St1 Oy:n tytäryhtiönä ja osana St1-konsernia (Kuva 1) sen ydinsaamisalueena on biokemian prosessi ja tuotantolaitosten hankekehitys, suunnittelu ja toteuttaminen. St1 Biofuels Oy työllistää tällä hetkellä noin 90 biopolttoaineiden huippuosaajaa. Yhtiö tuottaa biojätteistä ja -tähteistä valmistettua etanolia liikenteen biopolttoaineeksi. /1./



KUVA 1. St1 yritysrakenne /2/

3 SÄHKÖKUNNOSSAPITO

Sähkölaitteiden ja – laitteistojen suunnittelu, rakentaminen, valmistus, käyttö ja huolto perustuvat Suomessa sähköturvallisuuslakiin (1996/410) sekä tämän pohjalta säädettyihin määräyksiin /3, s. 28/. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksen (KTMp 1996/517) mukaisesti sähkölaitteiston haltijan on huolehdittava siitä, että laitteiden / laitteistojen kuntoa ja turvallisuutta valvotaan ja mahdolliset puutteet ja viat korjataan riittävän nopeasti /2, s. 56/.

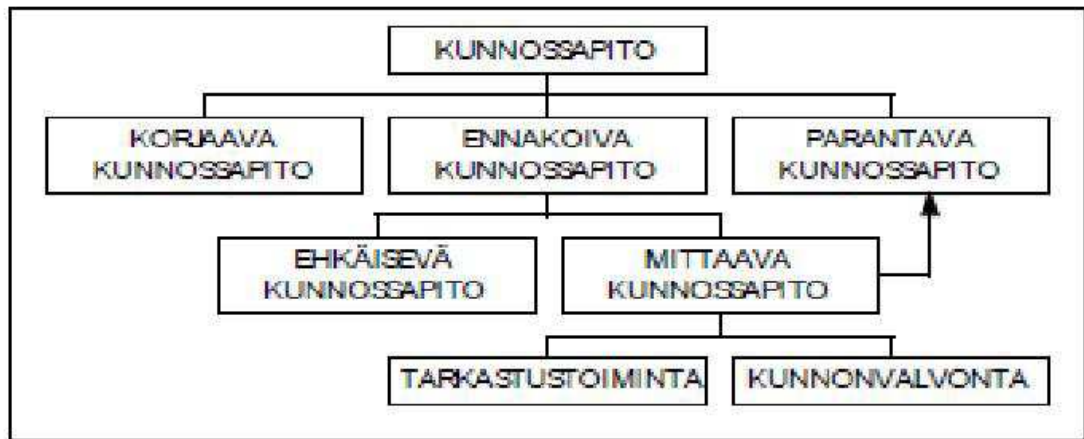
3.1 Kunnossapidon määritelmä

Kunnossapito voidaan määrittää mm. Standardoimiskeskus ry:n laatiman standardin PSK 6021 mukaan seuraavasti: kunnossapito on kaikkien teknillisten, hallinnollisten johtamiseen liittyvien toimintojen kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttamaan se siihen tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon koko sen eliniän ajan /4/.

3.2 Kunnossapidon lajit

Nykyaikaisessa tuotannossa käytettävyys eli prosessien jatkuva toiminta on tullut teollisuuden tärkeimmäksi ja keskeisemmäksi asiaksi.

Kunnossapidon tehtävänä on ollut pitää tehtaan pyörät pyörimässä. Tämän tehtävä luonne on nykypäivinä laajentunut niin, että kunnossapidon tavoitteena on myös pyörittää pyöriä yhä nopeammin ja yhä pidempään. Kunnossapito voidaan jakaa kuvan 2 mukaisiin toimintamalleihin. /5./



KUVA 2. Kunnonvalvonnan lajit /5/

3.2.1 Korjaava kunnossapito

Korjaavassa kunnossapidossa laite korjataan tai huolletaan vasta, kun vaurio on syntynyt. Yleensä tällaisissa tilanteissa vikaantuminen aiheuttaa prosessiin katkoksen. Yllättävästä käyttökatkoksesta aiheutuvat tuotannolliset menetykset ovat monesti suuremmat kuin itse laitteen korjauksen kustannukset. /5./

3.2.2 Ennakoiva kunnossapito

Ennakoivan kunnossapidon tavoitteena on ennakoivilla ja ehkäisevillä toimenpiteillä pyrkiä estämään yllättävien vaurioiden syntyminen ja sitä kautta estää yllättäviä käyttökatkoksia prosessissa. Ennakoivaa kunnossapitoon kuuluu ehkäisevä kunnossapito sekä mittaava kunnossapito. Ehkäisevällä kunnossapidolla tarkoitetaan säännöllistä huoltamista. /5./

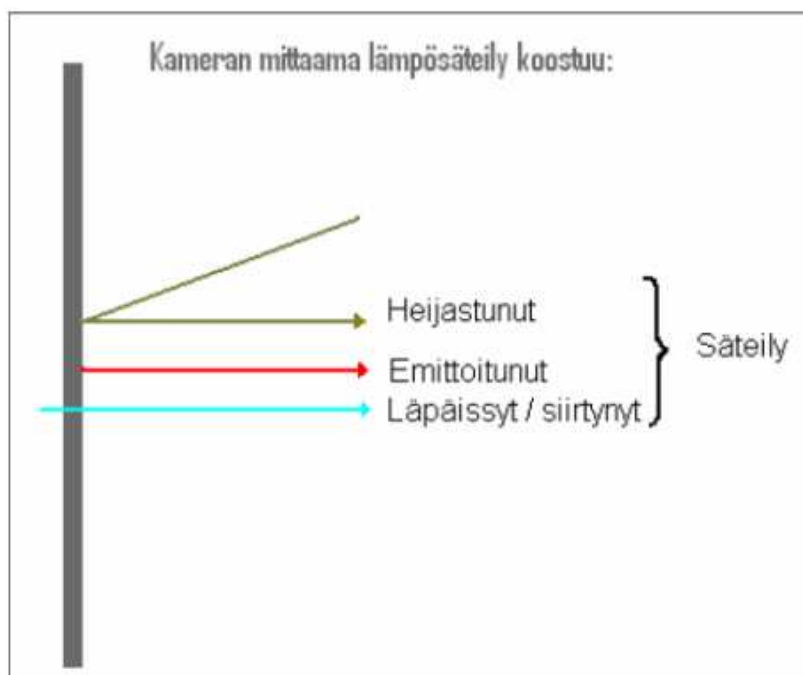
3.2.3 Parantava kunnossapito

Parantavalla kunnossapidolla tarkoitetaan laitteiden suorituskykyä, käytettävyyttä, luotettavuutta ja turvallisuutta lisäävää toimintaa. Tämän avulla voidaan poistaa esi-

merkiksi suunnitteluvirheistä johtuvia ongelma tapauksia tai vaurioita aiheuttavat perussyt. /5./

4 LÄMPÖKUVAUKSEN PERUSTEET

Lämpökuvaus perustuu pintalämpötilojen mittaukseen. Kaikki pinnat lähettävät lämpösäteilyä. Lämpö- eli infrapunasäteilyn voimakkuus riippuu pinnan lämpötilasta ja pinnan emissiokertoimesta. Emissiivisyys kertoo, kuinka suuri osa kappaleen lähettämästä lämpösäteilystä on kappaleen omaa lämpöenergiaa. Kappaleen emissiivisyys ilmaistaan emissiokertoimella, joka voi olla 0-1. Luvulla tarkoitetaan suhdetta täydelliseen säteilijään eli mustaan kappaleeseen. Emissiokertoimen ollessa alhainen, 0-0,5, on pinta kiiltävä ja heijastava. Tällaisessa tapauksessa osa pinnasta lähtevästä säteilystä voi olla ulkopuolisesta lämmönlähteestä tai heijastuksesta. Luvun ollessa lähellä 1:tä voidaan todeta heijastuksen osuuden olevan pieni ja lämpösäteilyn olevan kappaleen itsensä lähettämää. /6, s. 9, s.16./

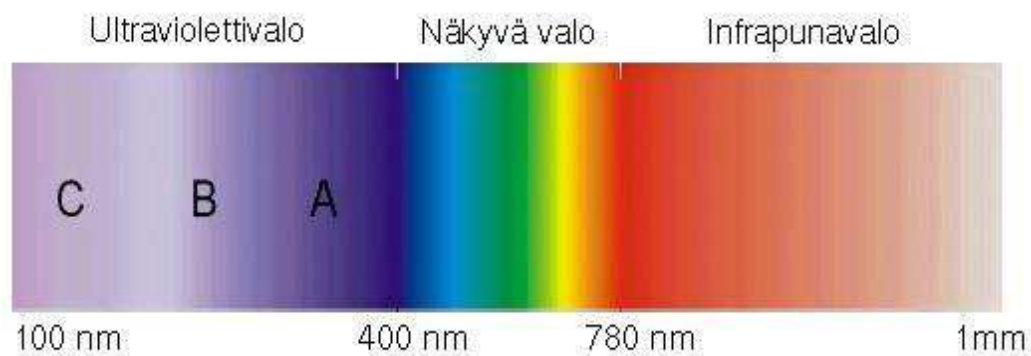


KUVA 3. Kameran kuvaaman lämpösäteilyn rakenne

4.1 Lämpö- eli infrapunasäteily

Infrapunasäteily on sähkömagneettista säteilyä. Sen aallon pituus on suurempi kuin näkyvän valon mutta pienempi kuin mikroaaltojen. Infrapunasäteilyn aallon pituus on välillä 700 nm...1000 nm. Infrapunasäteilyä kutsutaan myös lämpösäteilyksi, koska infrapunasäteily on sitä voimakkaampaa, mitä lämpimämpi kappale on. /7./

Jokainen kohde tai kappale, jonka lämpötila on yli absoluuttisen nollapisteen (-273°C), lähettää lämpö- eli infrapunasäteilyä. /8./



KUVA 4. Infrapuna-alue sähkömagneettisessa spektrissä /9/

4.2 Lämpökameran tekniikka

Lämpökamera on, aiemmin selitetyn, lämpösäteilyn vastaanotin. Kamera mittaa kuvattavasta kohteesta luonnostaan säteilevää lämpösäteilyä. Lämpösäteilyvoimakkuus muutetaan lämpökameran ilmaisimessa lämpötilatiedoksi, joka muutetaan reaaliajassa digitaaliseksi kuvaksi. /10./

Lämpökameroita on kahta päätyyppiä: mittaavia ja ei-mittaavia. Mittaavalla lämpökameratyypillä on useita sovellusalueita, kuten kiinteistöjen kunnontarkastukset, teollisuuden kunnossapito, lämpöprosessien tutkimus ja lämpökorreloivien vikojen paikannus. /10./

5 LÄMPÖKAMERA FLUKE TI-110

Kamera on suunniteltu teolliseen ja kaupalliseen käyttöön. Kamerassa on LCD-näyttö, ja kuvat on tallennettavissa SD-muistikortille. Tallennetut kuvat ja tiedostot voidaan

siirtää PC:lle joko suoraan muistikortilla tai USB-yhteyden kautta. Lämpökamerassa on mukana SmartView® -ohjelmisto. Ohjelmisto on ammattikäyttöön tarkoitettu analysointi- ja raportointiohjelmistokokonaisuus. /11./

Kameran lämpötilan mittausalue on $-20\text{ °C} \dots +250\text{ °C}$ ja tarkkuus $\pm 2\text{ °C}$ tai 2 %. Emissiokerroin on muutettavissa halutun mukaiseksi kameran valikosta. Infrapunatarkkuus 160 x 120. Tarkemmat tekniset tiedot saatavilla Fluken sivustolta <http://www.fluke.com/fluke/fifi/lampokamerat/Ti110.htm?PID=73873>. /12./



KUVA 5. Lämpökamera Fluke Ti110 /10/

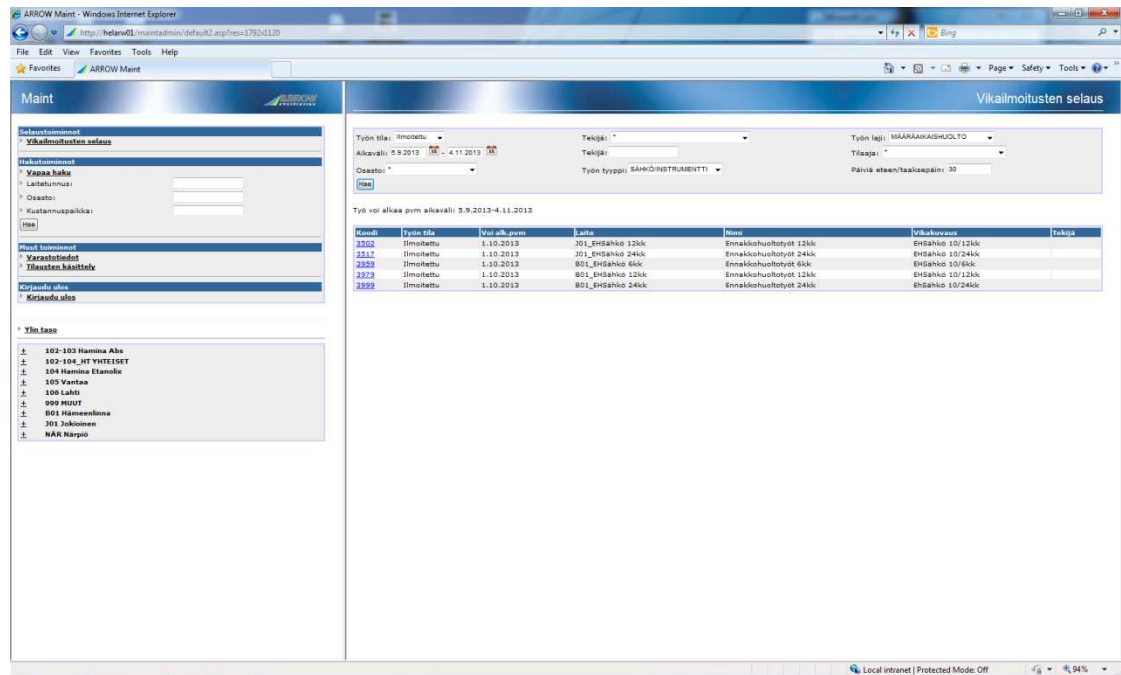
6 KUNNOSSAPITOJÄRJESTELMÄ

St1 Biofuels Oy käyttää kunnossapitotöiden, ennakkohuoltojen suunnittelussa, niiden ohjaamisessa sekä varaosahallinnassa Arrow Maint -kunnossapitojärjestelmää. Arrow Maint -kunnossapitojärjestelmä on helppokäyttöinen ja nopeasti käyttöönotettava ratkaisu kunnossapitotöiden hallintaan. /13./

Järjestelmä sisältää kaikki kunnossapitotöiden hallintaa vaadittavat ominaisuudet, kuten työaikakalenterin, vikailmoitusjärjestelmän, ennakkohuoltojärjestelmän, varastohallintajärjestelmän sekä raportointi- ja analyysiominaisuuden /13/.

Järjestelmä soveltuu käytettäväksi useille eri teollisuusaloille, kuten muun muassa energian ja yhteiskuntatekniikan-, metalli- sekä elintarviketeollisuuden aloilla /13/.

Arrow Maint -ohjelmaa voidaan käyttää Windows-ympäristössä niin sanottuna client-sovelluksena sekä myös selainpohjaisena käyttöliittymänä (kuva 6).



KUVA 6. Arrow Maint -kunnossapito-ohjelman ilmoitusnäköymä

7 LÄMPÖKAMERAN HYÖDYNTÄMINEN OSANA ENNAKOIVAA KUNNOSSAPITOA

Ennakoivaa kunnossapittoa tehdään erinäisillä mittaavilla toimenpiteillä sekä aistinvaraisin tarkasteluin. Sähkölaitteistojen ja -komponenttien korkea lämpötila tai lämpötilaero saattaa monesti viitata ei-toivottuun olotilaan ja saattaa johtaa korjaamattomana laiterikkoon tai pahimmassa tapauksessa jopa tulipaloon.

Lämpökuvaus on osa kunnossapidon menetelmää, jolla pyritään tarkastelemaan ja arvioimaan laitteiden ja laitteistojen laatua ja kuntoa koskematta itse laitteistoon. Lämpökuvausta voidaan siis käyttää sähkö- ym. laitteisiin kohdistuvana ennakoivan kunnossapidon menetelmänä, joka ei vaadi sähkölaitteiden pysäyttämistä tai prosessikatkoa. Tämä mahdollistaa omalta osaltaan myös tehdaslaitoksen kunnonvalvonnan ilman taloudellista tuotannon menetystä.

Lämpökuvauksella tarkastellaan kuormitusvirran tai ominaisresistanssin poikkeuksellista muutoksesta johtuvia lämpötilaeroja tai kohonneita lämpöarvoja.

7.1 Joulen laki

Joulen lain mukaan johtimessa sähkövirran synnyttämän lämmön määrä on verrannollinen johtimen vastukseen kerrottuna virran neliöllä /14/. Voidaan siis todeta, että mikä tahansa sähköä johtava materiaali, jonka läpi kulkee sähkövirta, luovuttaa lämpöä /15. s.21/.

7.2 Virtateiden lämpenemisen vaikuttavat suureet

Sähkötehon (P) muuntuminen sähköjohtimessa lämmöksi voidaan määritellä James Prescott Joulen esittämällä kaavalla;

$$P = I^2 * R \quad (1)$$

Jossa, P = sähköteho [W]
 I = virta [A]
 R = resistanssi [Ω]

/15. s. 21./

Joulen lain perusteella pystytään päättämään, että virtapiirin resistanssi ja virta on verrannollinen piirin lämpenemiseen.

7.2.1 Lämpötilan ja johdinmateriaalin vaikutus resistanssiin

Resistanssi eli sähköinen vastus [R] kuvaa johtimen kykyä vastustaa virrankulkua. Johtimen materiaali, pituus ja poikkipinta-ala vaikuttavat resistanssiin. Tämä voidaan laskea kaavalla;

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2)$$

Jossa, R = johtimen resistanssi [Ω]

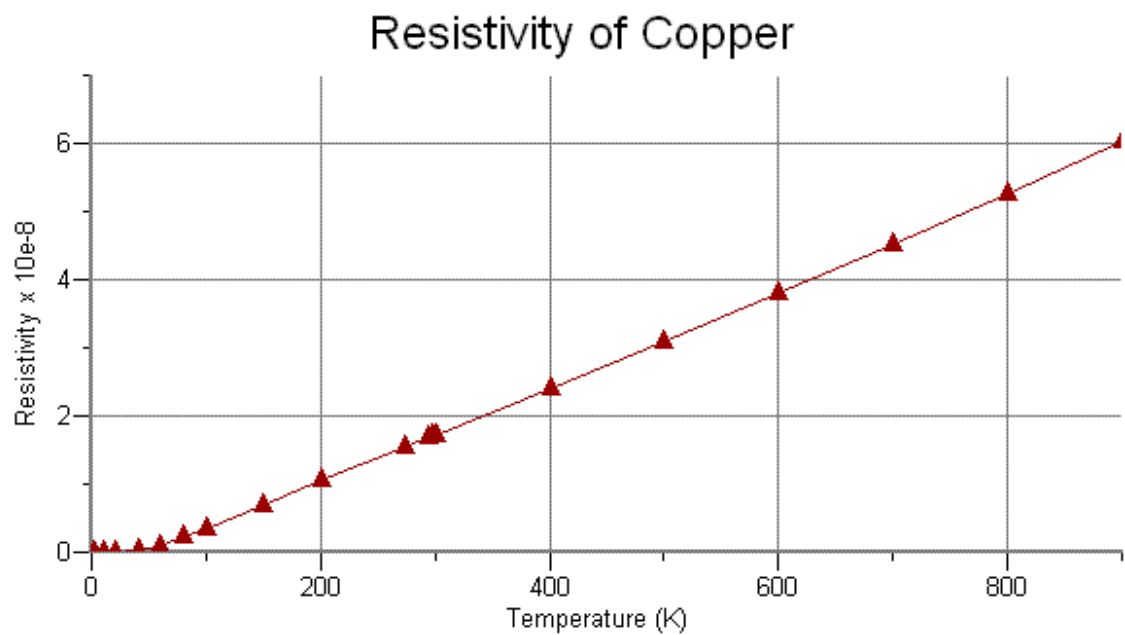
ρ = johtimen ominaisresistanssi $[\Omega\text{m}]$

l = johtimen pituus $[\text{m}]$

A = johtimen poikkipinta-ala $[\text{m}^2]$

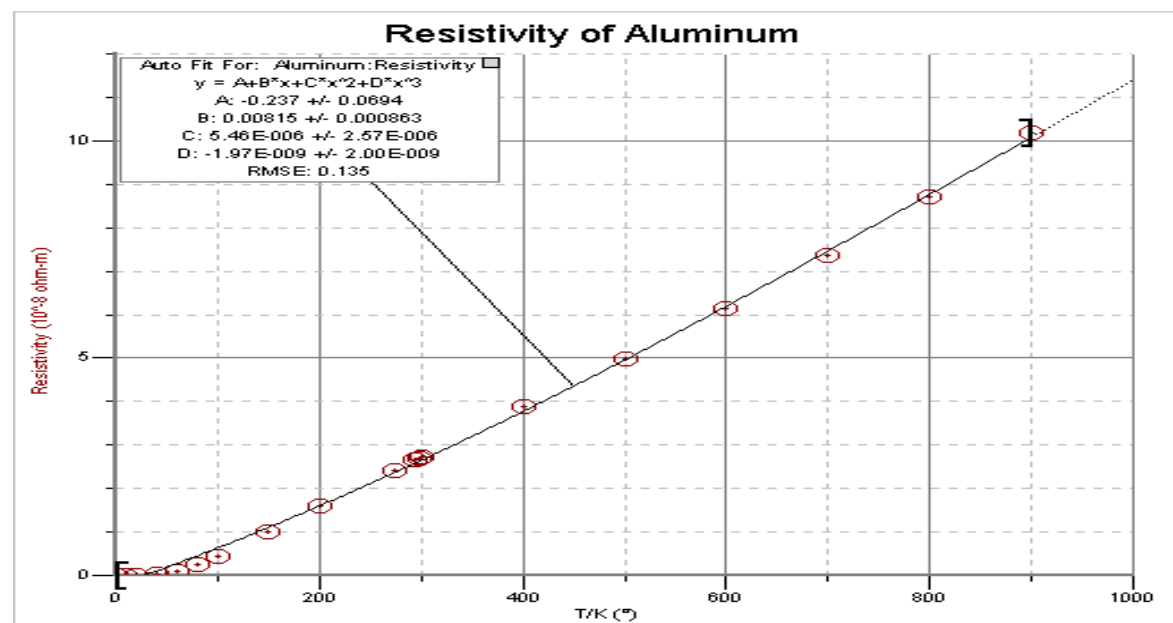
/16./

Lämpötila vaikuttaa sähköiseen resistanssiin. Yleisesti sähkökomponenttien materiaaleina käytettävien kuparin ja alumiinin ominaisresistanssi lämpötilan funktiona on lähes lineaarinen alueella 100K...900K (Kuvat 7 ja 8).



KUVA 7. Kuparin ominaisresistanssi lämpötilan funktiona (Bridge Ritter -2004)

/17/



KUVA 8. Alumiinin ominaisresistanssi lämpötilan funktiona (Bridge Ritter - 2004) /18/

Resistiivisyyden ja lämpötilakertoimen taulukkoarvot ilmoitetaan tyypillisesti +20 °C lämpötilassa. Kuva 9 esittää joidenkin aineiden ominaisvastuksia sekä ominaisvastuksen lämpötilakertoimia.

Aine	Ominaisvastus (20°C)	Ominaisvastuksen lämpötilakerroin (20°C)
Hopea	$0,0159 \cdot 10^{-6} \Omega m$	$4,0 \cdot 10^{-3} /K$
Kupari	$0,0168 \cdot 10^{-6} \Omega m$	$3,9 \cdot 10^{-3} /K$ ^{[3][4]}
Kulta	$0,024 \cdot 10^{-6} \Omega m$	$3,4 \cdot 10^{-3} /K$
Alumiini	$0,028 \cdot 10^{-6} \Omega m$	$4 \cdot 10^{-3} /K$
Messinki	$0,070 \cdot 10^{-6} \Omega m$	$1,5 \cdot 10^{-3} /K$
Rauta	$0,097 \cdot 10^{-6} \Omega m$	$6 \cdot 10^{-3} /K$
Teräs (arvo vaihtelee laadun mukaan)	$0,8 \cdot 10^{-6} \Omega m$	$3 \cdot 10^{-3} /K$

KUVA 9. Eräitä ominaisvastusarvoja +20 °C:ssa /19/

Kun materiaalin ominaisvastuksen lämpötilakerroin tiedetään, voidaan lämpötilan vaikutusta metallijohtimen resistanssiin tarkastella yhtälöllä

$$R = R_0(1 + \alpha(T - T_0)) \quad (3)$$

Jossa,	R = johtimen resistanssi tarkasteltavassa lämpötilassa	[Ω]
	R ₀ = johtimen ominaisvastus lämpötilassa +20 °C	[Ω]
	α = johdin materiaalin resistiivisyyden lämpötilakerroin	
	T = johtimen mitattu lämpötila	[°C]
	T ₀ = tyypillinen taulukkoarvojen referenssi lämpötila +20 °C	[°C]

/20/.

Kaavioita ja kaavoja tarkastelemalla voidaan kuitenkin todeta, ettei lämpötilasta johdettavalla johtimen resistanssin muutoksella, normaaleissa teollisuuden voimasähkölaitteiden käyttölämpötiloissa (-40...+90 °C), ole juurikaan merkitystä itse johdinteen lämpenemiseen ja näin ollen sen huomioiminen kunnossapidon käytännön tasolla on tarpeetonta.

7.2.2 Nimelliskuorman lämpötilan arvioiminen osakuormituksesta

Läheskään aina ei ole edellytyksiä lämpökuvata nimelliskuormitettuja kohteita. Tällaisista osakuormitteisista lähdöistä voidaan mitattujen virtojen sekä lämpötila-arvojen pohjalta laskea arvio tarkasteltavan johtimen lämpötilasta, tilanteesta jossa kohde olisi nimellis- eli maksimikuormitettuna. Laskelma on suuntaa-antava ja siihen tulee suhtautua varauksin, mutta sillä on mahdollista saada lisäarvoa laitteistojen kunnon analysointiin.

Nimelliskuormitetun sähköjohtimien lämpötila voidaan arvioida kaavalla:

$$T_{max} = (T_m - T_a) * \left(\frac{100}{\left(\frac{I_m}{I_{max}} \right) * 100} \right)^2 + T_a \quad (4)$$

Jossa, T_{max} = laskennallinen lämpötila nimelliskuormituksella [T]

T_m = mitattu lämpötila osakuormalla [T]

T_a = ympäristölämpötila [T]

I_m = mitattu virta osakuormalla [A]

I_{max} = kohteen nimellisvirta [A]

/21/.

7.3 Sähkökeskuksen lämpökuvaamisen vaatimukset

Sähkökeskuksien lämpökuvaamisen tarkoituksena on selvittää muun muassa keskuskomponenttien, sähköjohtimien, virtateiden ja näihin liittyvien liitoskohtien ja liitosten kuntoa, mittaamalla kohteesta säteilevää lämpöä. Kuvaamalla todettu korkea lämpösäteily saattaa ilmaista löysää tai hapettunutta sähköliitosta, sähkölaitteen vino-kuormitusta, johtimien mitoitusvirhettä tai muuta laitevauriota.

Että lämpökuvauksen tulokset ja niiden tulkinta olisi luotettavaa ja hyväksytyllä tasolla, vaaditaan kuvaajalta ja kuvien tulkitsijalta riittävää tuntemusta lämpökamerasta ja sen toimintaperiaatteesta. Lisäksi kuvaajalla tulee olla riittävä tietämys lämpökuvauksen sekä sähköopin perusteista. /6./

7.3.1 Turvallisuus

Monesti sähkökeskuksiin kohdistuvissa lämpökuvauksissa joudutaan poistamaan kosketussuojauksia keskuksen ollessa jännitteellinen ja kuormitettu. Kosketussuojauksien poistamisen näissä tapauksissa saa tehdä vain sähköalan ammattilainen. Tästä syystä sähkökeskusten kunnontarkastukset tulee tehdä turvallisesti ja äärimmäistä huolellisuutta ja varovaisuutta noudattaen. Lämpökuvaukset olisi siis hyvä teettää aina sähköalan ammattilaisella jolla on pätevyys tehdä sähköalan töitä sekä riittävä osaaminen ja tietämys tulkita lämpökameran mittauksia. /21./

7.3.2 Kuormitus

Lämpökuvauksella tehtävissä kunnan tarkastuksissa tulee tarkasteltava järjestelmä olla kuormitettu. Kuormituksen tulisi olla korkein mahdollinen tai vähintään 40 % huippukuormituksesta ja sen tulisi olla kuormitettuna vähintään ½ tuntia ennen kuvausta. Mitä suurempi on kohteen kuormitus, sitä helpommin mahdollinen ongelma on löydettävissä.

Sähkökeskusten kunnan tarkastuksessa pelkkä lämpökameran kuva ei riitä riittävän laaja-alaiseen kunnan tai vian määrittämiseen. Lämpökameran lisäksi tulee tarkastelussa käyttää tarvittaessa myös virtamittausta tulkittaessa mahdollista vikakohdetta. /21./

7.3.3 Lämpötilapoikkeama

Yleisimpiä syitä sähkökeskuksissa ilmenevissä vioista, jotka voidaan todeta lämpökameran kuvauksella ja/tai virran mittauksella ja jotka voidaan perustella kohdassa 7.2 selitettyyn resistanssin suurenemisella virtapiirissä, ovat komponenttien vikaantumiset, löysät tai syöpyneet liitokset ja yli- tai epäsymmetriset kuormitukset. Myös väärin mitoitettut johtimet ja kaapelit voidaan todeta lämpökuvauksella. Tästä syystä lämpökuvauksen lisäksi tulee virtausmittaus olla aina osana tarkastusta.

Ei myöskään ole olemassa yhtä absoluuttista lämpötilaa, joka voisi indikoida laite- tai komponenttivikaa. Eri laitteet, komponentit ja johtimet ovat mitoitettu toimimaan ja kestämaan eritasoisia lämpötiloja. Lisäksi virtapiirien kuormitus sekä ympäristöläm-

pötila ovat verrannollinen tarkasteltavien komponenttien lämpötilaan. Tästä johtuen kuvaajalla tai lämpökuvien analysoijalla tulisi olla riittävä tietämys myös eri sähkökomponenttien termisestä kestävydestä ja valmistajan määrittämästä maksimi käyttölämpötilasta.

7.4 Mittaustekniikka

Luotettavan tuloksen varmistamiseksi kuvaajalla tulisi olla ymmärrys myös itse mittaustekniikan perusteista. Tässä kappaleessa käsitellään yleisimmät ja tärkeimmät sähkölaitteistojen mittaamisessa huomioon otettavat seikat.

7.4.1 Emissiokerroin

Matalan emissiivisyyden omaavien pintojen pintalämpötilojen mittaaminen lämpökameralla on haasteellista. Näissä tapauksissa tulokset ovat epäluotettavia, vaikkakin kameran emissiokerroin olisi asetettu materiaalille oikeaksi. Kuvaamista tulisi siis välttää, jos materiaalin emissiivisyyskerroin on alle 0,6. Tällaisissa kohteissa tulisi tarkastelu tehdä muilla keinoin. /21./

7.4.2 Matala emissiokerroin

Yleisempien sähkökeskuksissa käytettyjen metallien, kuten alumiinin ja kuparin, emissiokertoimet ovat matalat. Alumiinilla tämä kerroin on luokkaa 0,1...0,4 ja kuparilla 0,2...0,6. Kuten jo aiemmin todettiin, tällaisten paljaiden kiiltävien materiaalien lämpökuvaus on haasteellinen ja oikean todellisen pintalämpötila erojen selvittäminen vaikeaa. Tällaisissa kohteissa mittaustekniikkana ja tulosten analysoinnissa hyödynnetään lämpöopin konduktioilmiötä. Konduktioilmiöllä tarkoitetaan lämmön siirtymistä johtumalla viereiseen kosketuksessa olevaan pintaan. Sähköjohtimissa nämä viereiset pinnat ovat monesti johtimien orgaanista eristemateriaalia, kuten PVC-muovia, joiden emissiokerroin on suuri. Korkean emissiokertoimen materiaalin lämpökuvauksen luotettavuus on hyvä. /21./

7.4.3 Mittausetäisyys

Mittaushistorian vertailukelpoisuuden varmistamiseksi tietynlaisissa tilanteissa olisi tärkeää, että mittaus tehtäisiin aina samalta etäisyydeltä. Lisäksi mittaus tulisi suorittaa riittävän läheltä. Suositus on, että mitattavan kohteen tulee olla suurempi kuin kameran LCD-näytöllä oleva tähtäin. Tällä varmistetaan mittausteknisesti riittävä luotettavuus. /21./

7.4.4 Kuvauskulma ja heijastuma

Kuvauskulma vaikuttaa suoraan emissiokertoimeen. Kuvauskulman ylittäessä 60° emissiokerroin muuttuu epäedulliseksi, eli pienentyy, ja vaikuttaa suoraan kuvauksen luotettavuuteen. Kuvauskulman tulisi olla $15...45^\circ$. Jos kuvauskulma on alle 15° , saat-
taa kuvaajan lähettämä lämpösäteily heijastua kuvattavasta kappaleesta ja näin vääristää osaltaan mittaustulosta. Heijastuma voidaan tarkistaa siirtymällä hieman sivusuunnassa. Jos kuuma kohta myös siirtyy, voidaan olettaa sen olevan heijastuma. Jos kuuma kohta pysyy paikallaan, on se todennäköisesti todellinen kuuma kohta. /21./

8 ENNAKKOHUOLTO-OHJEEN LAADINNAN PERUSTEET

Lähtökohtana on luoda ohjeistus, jonka tarkoituksena ja tavoitteena on vakioda kuvauskäytännö sekä analysointi että raportointi mahdollisimman selkeäksi ja yksiselitteiseksi kuin se vain on mahdollista. Täysin yksiselitteiseksi ja vakioituksi ei lämpökuvauksella tapahtuvaa tarkastelua ja analysointia voida ohjeistaa, koska kuten aiemmin todettiin, ei ole olemassa yhtä ainoaa absoluuttista lämpötila-arvoa tai tilannetta, joka yksiselitteisesti indikoisi vikaa. Ohjeistuksen lisäksi kuvaajalla tulee olla riittävä kokemus ja pelisilmä lämpökuvan ja sen pohjalta tapahtuvan poikkeaman löytämiseen ja selvittämiseen. Jokainen poikkeava lämpötila tulee kuitenkin aina analysoida, ja kuten myöhemmin tullaan toteamaan, ei absoluuttinen korkeaksi havaittu lämpötila ole välttämättä kuitenkaan korjausta vaativa vika. Korkeiden lämpötilojen lisäksi yhtä tärkeää on tarkastella lämpötilaeroja kahden samanlaisen ja samaan kohteeseen liittyvän, samalla kuormitustasolla olevan laitteen, komponentin tai johtimen välillä. Esimerkkinä voidaan mainita kolmivaihemoottorin vaihejohtimet.

Koska St1 Biofuels Oy:n Haminan tuotantolaitoksen kaikki sähkökeskukset ovat sijoitettu sisätiloihin, joiden ympäristölämpötila pysynee noin 25°C :ssa, on ohjeistukseksi

voitu määrittää kaksi absoluuttista lämpötilaraja-arvoa sekä lämpöeroarvon saman piirin ja samankuormitteisten komponenttien välillä. Näiden raja-arvojen perusteella kuvaajan tulee tehdä ohjeistuksen mukaiset toimenpiteet. Vaikkakin ohjeistus määrittää lämpötiloille selvät raja-arvot, tulee kuvaajan näistä huolimatta tarvittaessa käyttää omaa harkintaa myös näitä lämpötila-arvoja matalammissa mitatuissa kohteissa. Tällaisia voisi olla esimerkiksi ulkotiloissa olevien keskuskomponenttien tarkastelu talvella.

Lämpötilan alimmaksi raja-arvoksi määritettiin 60 °C ja ylemmäksi raja-arvoksi 85 °C sekä lämpötilaeroksi 5 °C.

Alemman lämpötilarajan ylittyessä ennakkohuollon tekijä kuvaa kohteen ja kerää kohteesta ohjeen mukaiset parametrit myöhemmin tapahtuvalle analysoinnille. Tässä tilanteessa voidaan edetä tarkastelussa seuraavaan kohteeseen. Ylemmän lämpötilan ylittyessä kuvaajan tulee kuvata kohde ja kerätä lähtötiedot, mutta tällöin analysointi ja tarkastelu sekä lämpenemisen syy selvittäminen tulee aloittaa välittömästi sekä korjaavat toimenpiteet mahdollisimman pikaisesti. Kolmantena kriteerinä on saman piirin samankuormitteisten komponenttien 5 °C:een lämpötilaero. Lämpötilaerotarkastelu tehdään sähkökomponenteille myös alle alemman lämpötilaraja-arvon.

Kahden lämpötila-arvon sekä lämpötilaeron tarkastelumalleilla pyritään jakamaan vika- tai vikaepäilykohteet kahteen eri ryhmään. Akuuttiin, heti korjausta vaativaan ryhmään sekä ei-akuuttiin ryhmään, jolloin tarkempi analysointi voidaan tehdä myöhemmin ja tarvittaessa korjaustoimenpiteet voidaan ajoittaa ennakolta sovittuun huoltopysäytyksen ajankohtaan.

Edellä mainittujen lämpötila-arvojen määrittämiseen tehtiin useita referenssimittauksia keskusvalmistus-standardin täyttävistä keskuksista. Lämpökuvaukset sisälsivät eritehoisia ja -kuormitettuja lähtöjä. Määrittelyn pohjaksi haastateltiin useaa sähköalan ammattilaista, joilla on kokemusta lämpökuvaamisesta, sekä lisäksi kahden sähkökeskuksia valmistavan yrityksen henkilöstöä. Ohjeistukseen määriteltyjä lämpöraja-arvoja ei perustella teoriaan viittaavilla eksaktisilla tiedoilla, ei myöskään syvennyttä suoritettuihin referenssimittauksiin ja -arvoihin eikä haastattelujen sisältöihin tai laajuuteen. Todetaan vain edellä mainittujen lämpötilaraja-arvojen perustuvan käytännön kokemuksiin sekä referenssimittauksiin.

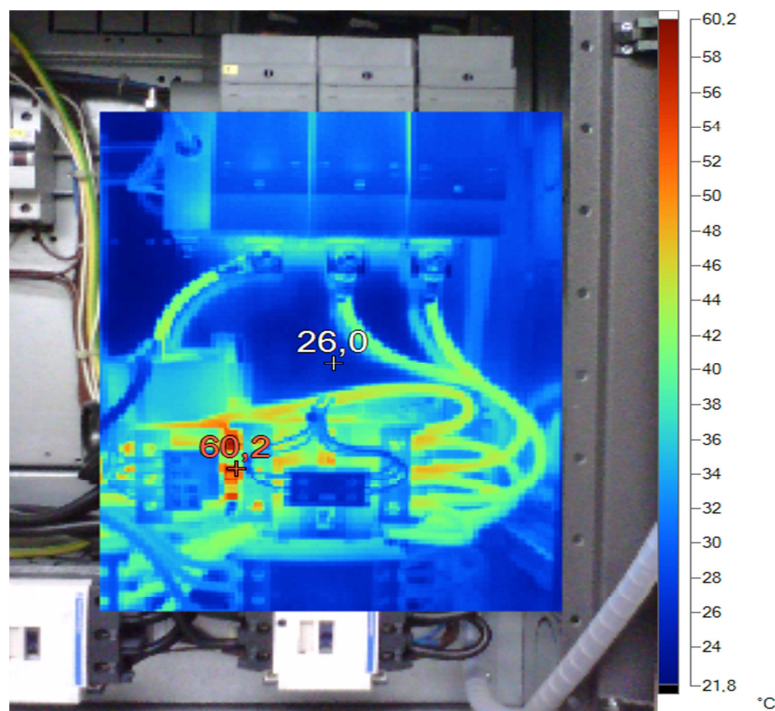
9 LÄMPÖKUVAAMINEN JA KUVAUSKÄYTÄNNE OHJEEN MUKAISESTI

Tässä kappaleessa tarkastellaan laaditun ohjeen mukaisesti kahta moottorilähtöä. Lisäksi analysoidaan kuvien sekä muiden lähtötietojen perusteella, onko kohteessa poikkeamaa tai vikaa, jolle tulisi määrittää jatkotoimenpiteet.

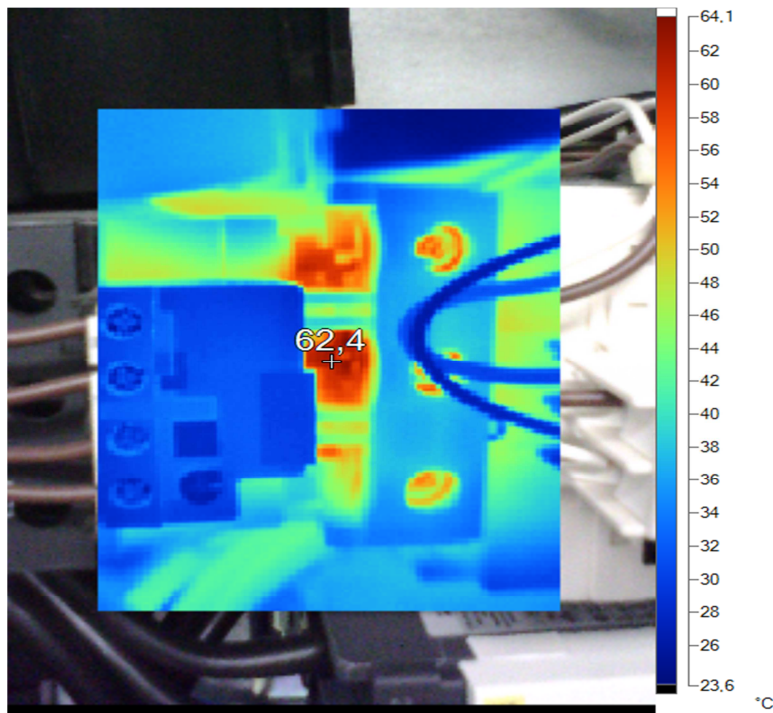
9.1 Moottorilähtö P20:n analysointi

9.1.1 Kohteen lämpökuvaaminen

Kuvassa 7 esitetään St1 Biofuels Oy:n Haminan tuotantolaitoksen sähkökeskus RK50 merivesipumpun P20 lähtö lämpökameralla kuvattuna. Kyseinen moottorilähtö on toteutettu tähti-kolmio-käynnistyksellä. Kuvasta voidaan todeta yli 60 °C lämpötilapisteitä, johon ohjeistuksen mukaisesti kuvaajan tulee reagoida. Kohteesta kuvataan laaja-alainen sekä detaljikuva tarkemmalle analysoinnille. Kuva 8 esittää detaljikuvaa, johon on lisätty Fluken SmartView -ohjelmalla kuvausalueen kuumin piste.



KUVA 7. Lämpökamerakuva RK50, lähtö P20



KUVA 8. Detaljikuva analysoitavasta kohteesta

Analysoitaessa lämpökuvaa ja kohdetta tulee arvioijalla olla käytössä myös muita parametreja, kuten kohteen kuormitusaste, mitattu kuormitusvirta, kuorman lähtötiedot, lähdön johdinmateriaalit ja -poikkipinta-alat sekä materiaalien maksimi käyttölämpötilat.

9.1.2 Esimerkkikohteen muut parametrit ja mittaukset

Kuten edellisessä kappaleessa todettiin, pelkällä lämpökuvaamisella ja kuvan tulkinalla ei välttämättä päästä riittävän luotettavaan lopputulemaan kohdetta arvioitaessa.

Tämän esimerkki kohteen muut tarpeelliset parametrit ovat seuraavat:

- Moottorin nimellisvirta = 90A
- Tähti-kolmio -käynnistys
- Kontaktorin nimellinen virtakestoisuus = 80A /23./
- Lämpöreleen teholuokka = 48...65A
- Mitatut vaihekohtaiset virrat
 - o L1 = 68A
 - o L2 = 68A
 - o L3 = 69A.

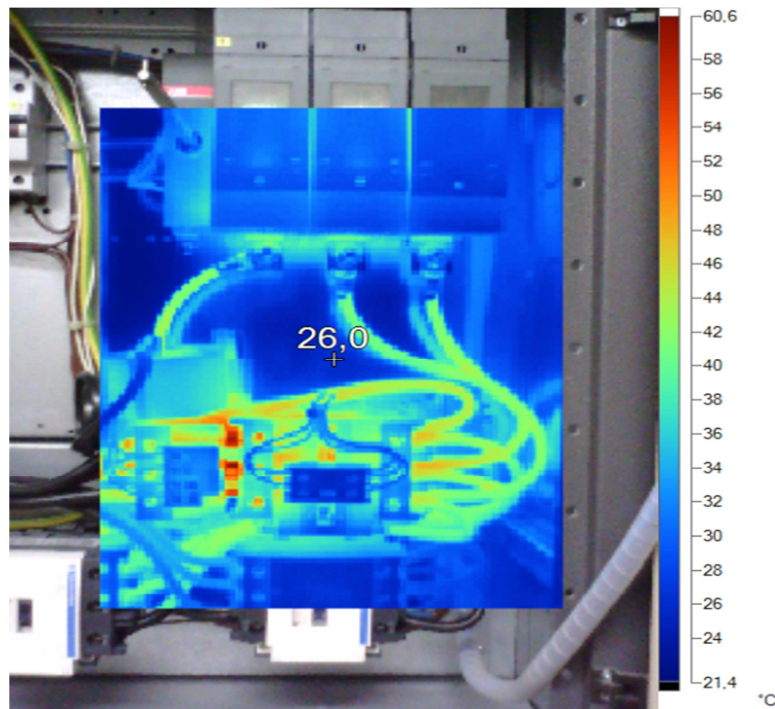
9.1.3 Kohteen analysointi

Kuvista 7 ja 8 voidaan todeta kuumimman kohdan olevan kontaktorin ja lämpöreleen välinen yhdyskisko. Kisko on päällystetty tummalla muovilla, eli orgaanisella aineella. Joten voidaan olettaa myös emissiivisyyskertoimen olevan riittävän suuri luotettavalle mittaustulokselle.

Todetaan kuormituksen olevan alle moottorin nimellisvirran. Tässä tapauksessa kuormitus on noin 77 % nimellisvirrasta. Selvityksen perusteella tiedetään tämän johtuvan pumpun painepuolen virtauksen kuristamisesta käsiventtiilillä prosessiteknisistä syistä.

Vertaamalla mitattuja arvoja komponenttien nimelliskeston arvoihin voidaan todeta komponenttien olevan oikein mitoitetut kyseiseen kohteeseen.

Mitatut, kohdassa 9.2 esitetyt, vaiheiden virta-arvot ovat keskenään samaa tasoa, joten oletetaan moottorin olevan kunnossa. Myöskään vaihejohtimien lämpökuvan tarkastelussa ei todeta merkittäviä lämpötilaeroja. Nämä lämpötilaerot voisivat osaltaan indikoida esimerkiksi moottori- tai liitosvikaa päävirtapiirissä (kuva 9).



KUVA 9. Sini-puna palettikuva P20 moottorilähdöstä

Koska mitoitukset ja komponenttien sopivuus kohteeseen on varmennettu ja todettu oikeaksi sekä liitoksien kireydet ja kunto on myös tarkastettu, kohdistetaan analysointi itse lämmentseisiin kohtiin ja niiden rakenteeseen.

Kuvassa 10 on esitetty kohteessa oleva lämpörele. Tarkastellaan lämpöreleen johdintappeja, joilla lämpörele on yhteydessä kontaktorin liittimiin. Verrattuna muihin ulkoiisiin virtateihin ja asennusjohtimiin huomataan lämpöreleen päävirtaliittimien olevan huomattavasti pienempi poikkipinnaltaan. Kyseisessä moottorilähdössä sisäiset päävirtajohtimet on toteutettu REKA MKEM 90 -tyyppisellä asennusjohtimella, joiden poikkipinta-ala on 25 mm². Lämpöreleen liitintapin poikkipinta-alan lasketaan olevan noin 12,5 mm².



KUVA 10. Telemecanique TeSys D -lämpörele

Vertaamalla johdinvalmistajan taulukosta (Liite 1) /24/ useasäikeisten johtimien tasavirtaresistanssia, +20 °C lämpötilassa, voidaan todeta pienemmällä poikkipinta-alaisella johtimella olevalla suurempi resistanssi. Poikkipinta-alan vaikutus resistanssiin todettiin myös aiemmin kohdassa 7.2.1. Kohdassa 7.2 esitetyn kaavan $P = I^2 \cdot R$ mukaan, virran pysyessä vakiona ja resistanssin kasvaessa, lämpöteho kasvaa. Tämän perusteella voidaan siis todeta lämpöreleen johdintapeissa olevan suurempi resistanssi kuin muissa tämän piirin johtimissa. Lämpötila kyseisessä kohdassa on siis hyvin suu-

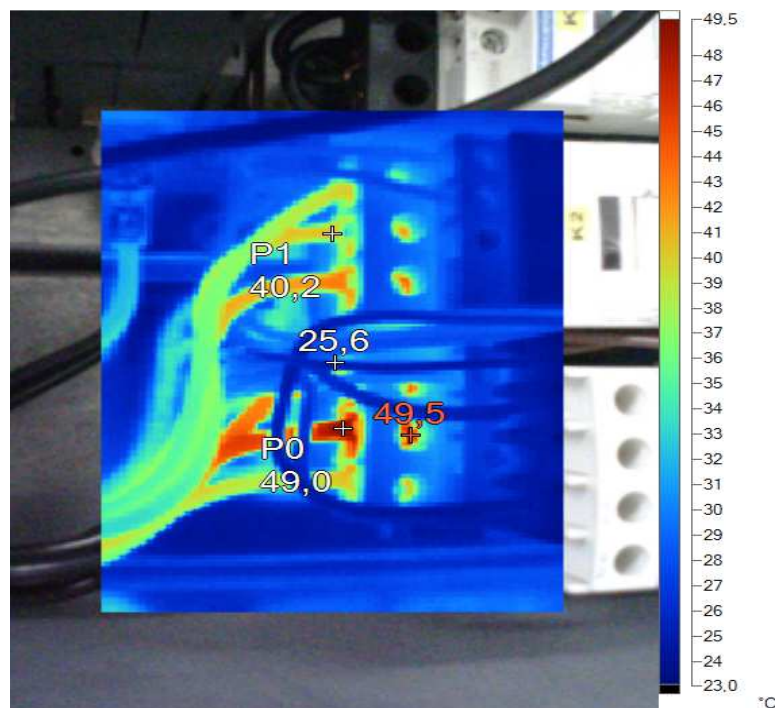
rella todennäköisyydellä normaalia, eikä tässä tapauksessa aiheuta välitöntä korjaustoimenpidettä eikä täten prosessin pysäyttämistä.

Koska kohteen pintalämpötila ylittää ohjeen mukaisen 60 °C lämpötilan, voidaan olettaa sen tulevan kuvatuksi tulevissa tarkastuksissa. Vaikka korkeahko lämpötila on tässä tapauksessa normaalia, siitä kertyvällä kuvashistorialla voidaan seurata mahdollista lämpötilan muutosta ja tarvittaessa suunnitella mahdolliset korjaustoimenpiteet etukäteen esimerkiksi huoltopysäytyksen ajankohtaan.

9.2 Moottorilähtö P4:n analysointi

9.2.1 Kohteen lämpökuvaaminen

Kuvassa 11 esitetään sähkökeskus RK30 siirtopumpun P4 lähtö lämpökameralla kuvattuna. Kyseinen moottorilähtö on toteutettu tähti-kolmio -käynnistyksellä. Kuvauskohteessa on todettu yli 5 °C:en lämpötilaeroja samankuormitteisissa johtimissa. Detailjikuvaa analysoitaessa on siihen lisätty kuvausalueen kuumin sekä vertailtavien kohteiden lämpötilat.



KUVA 11. Lämpökameran kuva RK30, lähtö P4

9.2.2 Esimerkkikohteen muut parametrit ja mittaukset

Tämän esimerkkikohteen muut tarpeelliset parametrit ovat:

- Moottorin nimellisvirta = 40,5A
- Tähti-kolmio käynnistys
- Kontaktorin nimellinen virtakestoisuus = 50A /23./
- Lämpöreleen teholuokka = 16...24A
- Mitatut vaihekohtaiset virrat
 - o L1 = 31A
 - o L2 = 31A
 - o L3 = 32A
- Moottorin kuormitus noin 76 % nimellisvirrasta.

9.2.3 Kohteen analysointi ja korjaustoimenpiteet

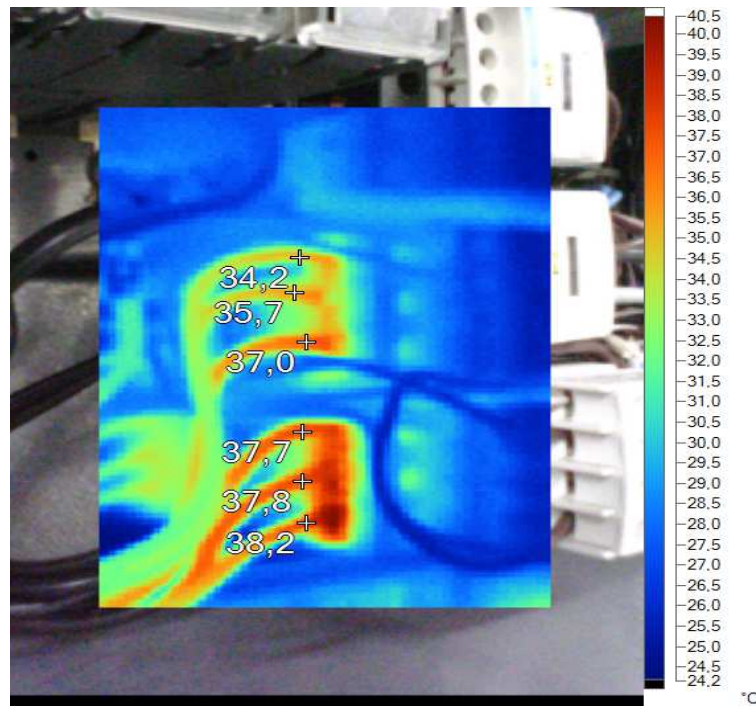
Todetaan kontaktorin –K1:n ja –K2:n samanvaiheisissa kuormitetuissa johtimissa lämpötilaeroa noin 9°C. Totutusti yleisimpiä syitä moottorilähtökomponenttien normaalista poikkeavaan lämpenemiseen on komponenttien mitoitusvirheiden lisäksi löysät tai hapettuneet liitokset. Tarkastelulta todetaan kaikkien komponenttien olevan kohteeseen oikein mitoitettut. Myös moottorin ottama vaihevirrasta ovat keskenään samansuuntaiset. Tämän pohjalta voidaan epäillä joko löysää tai hapettunutta liitosta tai vaihtoehtoisesti vikaantunutta kontaktorin kosketinta.

Jatkotoimenpiteenä kohde tehdään jännitteettömäksi ja tarkastetaan johdinliitosten kireydet. Esimerkkikohteen tapauksessa kontaktorin kaikki ruuviliittimet kiristyivät noin ¼ kierrosta.

Kuvataan kohde ohjeen mukaisesti korjaustoimenpiteen jälkeen. Kuvasta 12 voidaan todeta johtimien lämpösäteilyn pienentyneen ja näin ollen kohonneen lämpötilan johtuneen löysistä liitoksista.

Lisähuomiona todetaan, että lämpötilapisteet ovat tarkoituksellisesti asetettu johtimien eristeiden päälle. Tämän perusteluna on, kuten aiemmin on myös mainittu, että eristysmuovi on orgaanista ainetta, jolloin emissiivisyyskerroin on suuri ja näin ollen mittaustulos on luotettava. Kuvasta voidaan myös huomata mittausteknisesti kuumempia

kohtia kuin asetetut mittapistet. Kyseiset kohdat ovat komponenttien metalliset, epä-
 orgaaniset, liitokset, joiden emissiivisyyskerroin on matala ja näin ollen myös mittaus-
 tulos epäluotettava.



KUVA 12. Johdinliitosten kiristymisen vaikutus lämpötiloihin

10 YHTEENVETO

Työssä käsiteltiin pääpiirteittäin teollisuuden kunnossapitoa. Tämän jälkeen käsiteltiin perusteoriaa lämpösäteilyä, lämmön synnystä sähkövirtapiireissä sekä lämpökamera-
 tekniikasta. Lisäksi käsiteltiin yleisesti lämpökuvaamista olennaisilta osiltaan.

Työn tarkoituksena oli laatia St1 Biofuels Oy:n tuotantolaitoksille sähkökeskuksien
 lämpökuvausohje, joka liitetään osaksi ennakoivan kunnossapidon ohjelmaan. Tämän
 työn ja sen pohjalta laaditun ohjeen tarkoitus ei ole opastaa tai kouluttaa edellä mainit-
 tuja lämpökuvaamiseen tarvittavia oppeja, vaan toteuttaa työn tilaajalle riittävän luot-
 tettava ja vertailukelpoinen dokumentaatio sähkökeskuksien kunnosta sekä lämpöku-
 vauksen pohjalta tehdystä huoltohistoriasta.

Yhteenvetona voidaan todeta, että sähkölaitteistojen lämpökuvaaminen ja tuloksien
 analysointi ei välttämättä ole niin yksiselitteistä kun yleisesti saatetaan ymmärtää.

Vaikkakin kameratekniikka on vuosien myötä parantunut, on riittävän laadukkaan tulkinnan taustalla oltava tiettyjen peruselementtien hallinta. Näitä elementtejä ovat muun muassa kameran oikeat asetukset, kuvaustekniikka, lämpö-, valo- sekä erityisesti sähköopin perusymmärrys. Myös riittävä lämpökuvaus- ja analysointikokemus tuo lisäarvoa tarkasteltaessa sähkötekniisiä laitteistoja. Lisäksi, kuten kohdan 9.1 esimerkki tapauksesta voidaan todeta, tulisi epäiltyä vikakohdetta analysoitaessa ottaa aina huomioon myös kohteen muut parametrit ja tekijät yksityiskohtaisesti.

Koska sähkötekniisiin laitteisiin kohdistuva lämpökuvaaminen sekä muut tarpeelliset mittaukset joudutaan monesti tekemään jännitteisten osien läheisyydessä, tulisi työ teettää aina sähköalan ammattilaisella, jolla on riittävät taidot lämpökuvaamisen perusteista sekä sähköopista.

Fluke-lämpökuvan analysointiin ja raportointiin tarkoitettua ohjelmaa ei tässä työssä käsitelty, vaikkakin ohjelmaa käytetään lämpökuvien analysointi ja dokumentointi työkaluna. Todetaan vain, että ohjelma on ilmainen ja riittävän laadukas hyvän lämpökuvausraportoinnin hallintaan.

Lopputyön tuloksena laaditun ohjeen sisällössä on huomioitu tässä työssä esitettyjen lähteiden lämpö-, valo- ja sähköopin lisäksi Fluke Finland Oy:n järjestämän lämpökameran käyttöopetusta ja koulutuksen materiaalia. Lisäksi ohjeessa on huomioitu St1 Biofuels Oy:n erityisvaatimuksia ja käytänteitä. Tämän työn liitteenä oleva ohje on laadittu yhtiön Haminan tuotantolaitokselle.

LÄHTEET

1. St1. Yrityksen www-sivu. Päivitetty 21.9.2013. Luettu 21.9.2013.
2. St1. Yritysrakenne www-sivu. <http://www.st1.eu/company-information#facts-and-figures>. Päivitetty 4.3.2014. Luettu 4.3.2014.
3. Suomen standardoimisliitto SFS ry. SFS käsikirja 600. 2007.
4. Prosessiteollisuuden standardoimiskeskus ry. PSK 6201. 1994.
5. ABB. TTT-käsikirja. <http://cna.mikkeli.ammk.fi/Public/JormPekk/ABB/TTT-KIRJA%202000/KUNNONVALVONTA%20JA%20HUOLTO.pdf>. Päivitetty 23.10.2008. Luettu 21.9.2013
6. Paloniitty, Sauli & Kauppinen, Timo. Rakennusten lämpökuvaus. Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy. 2006.
7. Wikipedia, vapaatietosanakirja: Infrapuna. http://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6magneettinen_spektri#Infrapuna. Päivitetty 23.9.2013. Luettu 27.9.2013
8. Stjernberg, Timo. Kunnossapitolehden erikoisliite n:o 56. www-dokumentti. <http://www.infradex.com/pdf/Kunnossapitokurssi.pdf>. Päivitetty 31.3.2003. Luettu 21.9.2013
9. Ilmatieteenlaitos. Valo ja Spektri. <http://www.ava.fmi.fi/oppimateriaali/envisat/valonsade/spektri.html>. Päivitetty 8.12.2004. Luettu 27.9.2013
10. Infradex Oy. Lämpökuvausjärjestelmät. <http://www.infradex.com/kuinka.html>. Päivitetty 21.9.2013. Luettu 21.9.2013
11. Fluke Ti110 manuaali. 2012.
12. Fluke. Yrityksen www-sivu. <http://www.fluke.com/fluke/fifi/lampokamerat/Ti110.htm?PID=73873>. Päivitetty 21.9.2013 Luettu 21.9.2013
13. Arrow Engineering Oy. www-sivu. <http://www.arroweng.fi/fi/tuotteet-ja-palvelut/arrow-maint-helppokayttainen-kunnossapitojarjestelma/>. Päivitetty 21.9.2013. Luettu 21.9.2013
14. Peda.net.www-sivu. http://www.peda.net/verkkolehti/kiuruvesi/lukio/heisenberg?m=content&a_id=60 . Päivitetty 5.10.2013. Luettu 5.10.2013
15. Peräniitty, Markku. Sähkölämpötekniikka: Periaatteet ja Sovellukset. Otatieto 1995.
16. Wikipedia, vapaatietosanakirja: Resistanssi.

<http://fi.wikipedia.org/wiki/Resistanssi> . Päivitetty 24.12.2013 Luettu 2.1.2014

17. Glenn Elert. Hypertextbook. [www-sivu](http://www.sivu).

<http://hypertextbook.com/facts/2004/BridgetRitter.shtml> Päivitetty 14.1.2014. Luettu 14.1.2014.

18. Glenn Elert. Hypertextbook. [www-sivu](http://www.sivu).

<http://hypertextbook.com/facts/2004/ValPolyakov.shtml> Päivitetty 14.1.2014. Luettu 14.1.2014.

19. Wikibedia, vapaatietosanakirja: Ominaisvastus.

<http://fi.wikipedia.org/wiki/Ominaisvastus> Päivitetty 13.1.2014. Luettu 13.1.2014.

20. NDT Resource Center. [www-sivu](http://www.sivu).

http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Physical_Chemical/Electrical.htm
Päivitetty 10.11.2011. Luettu 2.1.2014

21. Fluke Finland Oy. Koulutus materiaali. 2013.

22. Schneider-electric. [www-sivu](http://www.sivu).

http://www.engineering.schneider-electric.se/Attachments/ed/guide/mv_partner_b12_short_circuit_power.pdf
Päivitetty 23.7.2008. Luettu 22.1.2014

23. Schneider Electric. Yrityksen [www-sivu](http://www.sivu).


<http://ecatalogue.schneider-electric.fi/ProductGroup.aspx?groupid=32953&navid=24939&navoption=1>.
Päivitetty 28.11.2013. Luettu 28.11.2013

24. Reka Kaapeli Oy. Yrityksen [www-sivu](http://www.sivu).

http://www.reka.fi/products/reko/MKEM%2B90_450_Asennusjohdin.
Päivitetty 28.11.2013. Luettu 28.11.2013

Tunnus	Suurin vetovoima vetopäällä [kN]	Vaihejohtimen maks. tasavirtaresistanssi, +20 °C [ohm/km]	Pakkaustiedot [m]
1,5 RU	0.08	13.3	250 nippu
1,5 MU	0.08	13.3	250 nippu
1,5 SI	0.08	13.3	250 nippu
1,5 KEVI	0.08	13.3	250 nippu
2,5 MU	0.13	7.98	200 nippu
2,5 SI	0.13	7.98	200 nippu
2,5 KEVI	0.13	7.98	200 nippu
4 MU	0.20	4.95	100 nippu
4 SI	0.20	4.95	100 nippu
4 KEVI	0.20	4.95	100 nippu
6 MU	0.30	3.30	100 nippu
6 SI	0.30	3.30	100 nippu
6 KEVI	0.30	3.30	100 nippu
10 MU	0.50	1.91	100 nippu
10 MU	0.50	1.91	1000 K5
10 SI	0.50	1.91	100 nippu
10 SI	0.50	1.91	1000 K5
10 KEVI	0.50	1.91	100 nippu
10 KEVI	0.50	1.91	1000 K5
16 MU	0.80	1.21	100 nippu
16 MU	0.80	1.21	1000 K6
16 SI	0.80	1.21	100 nippu
16 SI	0.80	1.21	1000 K6
16 KEVI	0.80	1.21	100 nippu
16 KEVI	0.80	1.21	1000 K6
25 MU	1.25	0.78	100 nippu
25 MU	1.25	0.78	1000 K7
25 SI	1.25	0.78	100 nippu
25 SI	1.25	0.78	1000 K7
25 KEVI	1.25	0.78	100 nippu
25 KEVI	1.25	0.78	1000 K7
35 MU	1.75	0.554	50 nippu
35 MU	1.75	0.554	500 K7
35 SI	1.75	0.554	50 nippu
35 SI	1.75	0.554	500 K7
35 KEVI	1.75	0.554	50 nippu
35 KEVI	1.75	0.554	500 K7
50 MU	2.50	0.386	50 nippu
50 MU	2.50	0.386	500 K7
50 SI	2.50	0.386	50 nippu
50 SI	2.50	0.386	500 K7
50 KEVI	2.50	0.386	50 nippu
50 KEVI	2.50	0.386	500 K7
70 MU	3.50	0.272	50 nippu
70 MU	3.50	0.272	250 K6
70 SI	3.50	0.272	50 nippu
70 SI	3.50	0.272	250 K6
70 KEVI	3.50	0.272	50 nippu
70 KEVI	3.50	0.272	250 K6
95 MU	4.75	0.206	250 K7
120 MU	6.00	0.161	250 K7
150 MU	7.50	0.129	250 K8

Huolto- ja kunnossapito-ohje

 St1 Biofuels Oy Ismo Suurtalo	HUOLTO- JA KUNNOSSAPITO-OHJE Keskusten lämpökuvaus		
	Haminan tuotantolaitos Yhteiset	pvm: 29.1.2014 ISu päivitetty pp.kk.vvvv	Sivu 1/8

Huoltoväli: 12kk

Positiot: Kts. liite 1

Huom: Testaus, huolto- ja korjaustoimenpiteitä tehtäessä tulee ehdottomasti varmistua, ettei toimenpiteellä ole vaikutusta tehtaan käynnissäpitoon. Luvan työlle antaa laitosvastaava tai sähkökunnossapidosta vastaava.

Lämpökuvaus tehdään jännitteellisessä keskuksessa kuormitettuihin komponentteihin, johtimiin ja kaapeleihin.

Työssä tulee huomioitava ja tiedostaa sähköiskun vaara.

Työ tehdään jännitteisten osien läheisyydessä ja tekijän tulee olla sähköalan ammattilainen. JÄNNITETYÖ KIELLETTY.

Työssä noudatettava St1 Biofuels Oy:n työ- ja sähkötyölupa ohjeistusta sekä erityistä varovaisuutta ja huolellisuutta.

Kuvaus: Lämpökuvauksen tarkoituksena on tarkastaa sähkökeskusten komponenttien ja liitosten kunto. Kuvaus tehdään kaikkien keskuksien lähtöihin. Lähtö tulee olla tarkastukselta kuormitettuna vähintään 15 minuuttia ja 40% nimellistehosta.


Ohje: Kameran asetukset (Fluke Ti110 kamera);

- Mittaus
 - o Alue Automaatti
 - o Emissiivisyyskerroin 0.95
 - o Taustalämpötila aseta arvioitu ympäristölämpötila
 - o Läpäisykyky 100%
- Kuva
 - o Paletti Vakio / Sinipunainen
 - o IR-fusio Maks. IR
 - o Värinälytys Ei
- Asetukset
 - o Yksiköt °C
 - o Tiedostomuoto IS2
 - o

Tarkastetaan liitteen 1 mukaisten keskuksien kaikki kuormitetut liityntäpisteet, etukojeet, katkaisijat, johtimet, johdot sekä kaikki ryhmäkohtaiset lähdöt.

Jännitteettömät ja kuormittamattomat (ei mitatut) kohteet kirjataan liitteeseen 4 positiokohtaisesti.

Huolto- ja kunnossapito-ohje

 St1 Biofuels Oy Ismo Suurtalo	HUOLTO- JA KUNNOSSAPITO-OHJE Keskusten lämpökuvaus		
	Haminan tuotantolaitos Yhteiset	pvm: 29.1.2014 ISu päivitetty pp.kk.vvvv	Sivu 2/8

Lämpötilaraja-arvot:

1. Yli 60°C tai •T >5°C
 - Kuvataan kohde ja kirjataan poikkeama ja lähtötiedot liitteisiin 2 ja 3
2. Yli 85°C
 - Kuvataan kohde ja kirjataan poikkeama ja lähtötiedot liitteisiin 2 ja 3
 - Aloitetaan korjaustoimenpiteet välittömästi

Kuittaus:

Korjaus toimenpide kuitataan liitteeseen 2. Korjatusta kohteesta tulee aina ottaa kuva normalissa kuormitusstilassa.


Vikailmoitus tai tehty korjaus kirjataan Arrow kunnossapito-ohjelmaan ko. keskuspositiolle.

Tiedostotallennus:

Kaikki lämpökuvat tallennetaan SI kunnossapito pc:n tietokantaan. Työpöydän kansio;
Ennakkohuolto → Lämpökuvat

Tarkastelusta otetut poikkeama kuvat nimetään: *keskustunnus-lähtötunnus-päiväys-juokseva kuvanumero ko. lähdöstä. JK50-P20-20132711-1*


Korjaustoimenpiteen jälkeen otettu kuva nimetään lisämerkillä K. *JK50-P20-20132711-3K*

 St1 Biofuels Oy Ismo Suurtalo	HUOLTO- JA KUNNOSSAPITO-OHJE Keskusten lämpökuvaus		
	Haminan tuotantolaitos Yhteiset	pvm: 29.1.2014 ISu päivitetty pp.kk.vvvv	Sivu 3/8

LIITE 1

Keskus	Sijainti
Muuntaja M171	Muuntamo
PK	Pääkeskustila
PK2	Pääkeskustila
JK10	Pääkeskustila
JKUPS	Pääkeskustila
JK30	Pumppaamo 1 sähkötila
JK31	Pumppaamo 1 sähkötila
JK40	Abs. 1.krs. sähkötila
MCC2	Abs. 2.krs. sähkötila
MCC2.1	Abs. 2.krs. sähkötila
MCC1	Etanolix sähkötila
DC01	Etanolix sähkötila
JB3	Etanolix sähkötila
JK11	Etanolix
JB1	Etanolix
JB2	Etanolix
JB4	Etanolix
JB5	Etanolix
JB6	Etanolix
JB7	Etanolix
JB8	Etanolix
JB9	Etanolix
JB10	Etanolix
JB11	Etanolix
JB12	Etanolix
JB13	Etanolix
JB14	Etanolix
JB15	Etanolix
JK50	Lämpölaitos sähkötila
JK51	Lämpölaitos
JK22	Valvomo tekn.tila
UPS-50	Valvomo tekn.tila
JK20	Väestösuoja
JK21	Laboratorio

Huolto- ja kunnossapito-ohje

 St1 Biofuels Oy Ismo Suurtalo	HUOLTO- JA KUNNOSSAPITO-OHJE Keskusten lämpökuvaus		
	Haminan tuotantolaitos Yhteiset	pvm: 29.1.2014 ISu päivitetty pp.kk.vvvv	Sivu 4/8

LIITE 2

	Keskus	Posiio	Poikkeama / korjaustoimenpide	Korjattu	
				Pvm	Nimi
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

 St1 Biofuels Oy Ismo Suurtalo	HUOLTO- JA KUNNOSSAPITO-OHJE Keskusten lämpökuvaus		
	Haminan tuotantolaitos Yhteiset	pvm: 29.1.2014 Su päivitetty pp.kk.vvvv	Sivu 5/8

LIITE 3

	Keskus	Piste	Kuumia	Suojakke	Päärtäloomp	Mittaus väle			Lämpötilat			Johdinyht	
						L1	L2	L3	Ta*	Tm**	Tmax***	Säänn	Kesk
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
24													
25													
26													
27													
28													
29													
30													


**Ympäristölämpötila

***Suurin sallittu lämpötila

****Laskennallinen maksimilämpötila

$$T_{max} = (T_n - T_d) \cdot \left(\frac{100}{\left(\frac{T_n}{T_{max}} \right) \cdot 100} \right) + T_d$$


Huolto- ja kunnossapito-ohje

 St1 Biofuels Oy Ismo Suurtalo	HUOLTO- JA KUNNOSSAPITO-OHJE Keskusten lämpökuvaus		
	Haminan tuotantolaitos Yhteiset	pvm: 29.1.2014 ISu päivitetty pp.kk.vvvv	Sivu 6/8

LIITE 4


	Ei kuvattu pöytäkirjan päiväyksellä		Kuvattu	
	Keskus	Positio	Päivämäärä	Kuvaaja
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				

Huolto- ja kunnossapito-ohje

 St1 Biofuels Oy Ismo Suurtalo	HUOLTO- JA KUNNOSSAPITO-OHJE Keskusten lämpökuvaus		
	Haminan tuotantolaitos Yhteiset	pvm: 29.1.2014 ISu päivitetty pp.kk.vvvv	Sivu 7/8

	Ei kuvattu pöytäkirjan päiväyksellä		Kuvattu	
	Keskus	Positio	Päivämäärä	Kuvaaja
41				
42				
43				
44				
45				
46				
47				
48				
49				
50				
51				
52				
53				
54				
55				
56				
57				
58				
59				
60				
61				
62				
63				
64				
65				
66				
67				
68				
69				
70				
71				
72				
73				
74				
75				
76				
77				
78				
79				
80				

Huolto- ja kunnossapito-ohje

 St1 Biofuels Oy Ismo Suurtalo	HUOLTO- JA KUNNOSSAPITO-OHJE Keskusten lämpökuvaus		
	Haminan tuotantolaitos Yhteiset	pvm: 29.1.2014 ISu päivitetty pp.kk.vvvv	Sivuu 8/8

Kuvaaja / kuvaajat

Yritys: _____

Nimi 1: _____

Nimi 2: _____

Päiväys: _____